



indice



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

- fissione di atomi pesanti
- le reazioni di fissione nucleare
- centrali a fissione
- un prototipo di centrale a fusione (ITER)

- celle fotovoltaiche
- solare termico



riassunto



- le reazioni chimiche interessano i legami tra elementi, mentre quelle nucleari modificano i nuclei;
- interazione nucleare forte;
- difetto di massa;
- sezione d'urto;

- fusione $D+T \rightarrow He + n$ (17.6 MeV);
- (quasi) tutti i nuclei non pericolosi;
- enormi problemi tecnologici (confinamento del plasma);

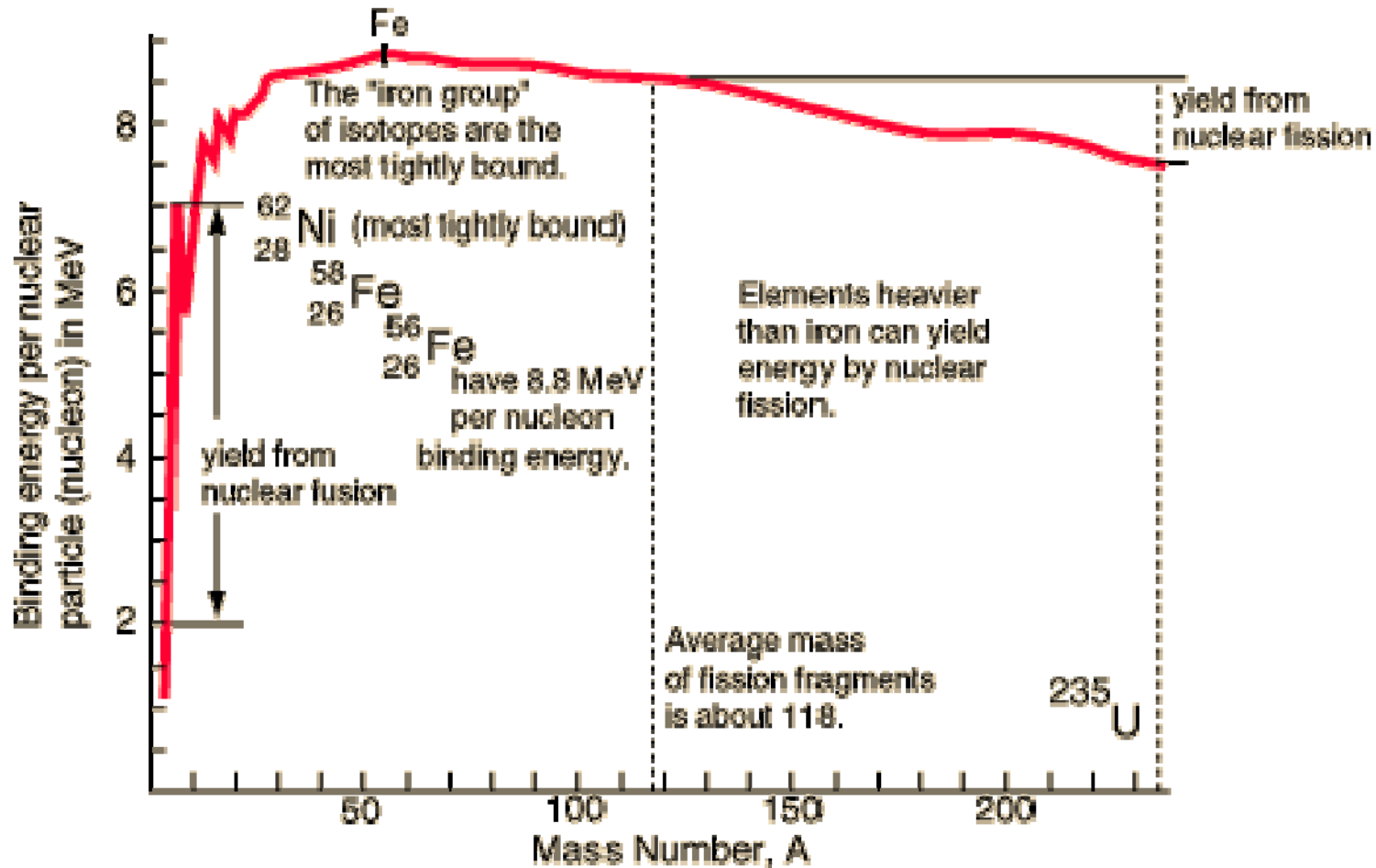


La produzione di energia da reazioni nucleari

Energia di legame per nucleone



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI





La produzione di energia da reazioni nucleari

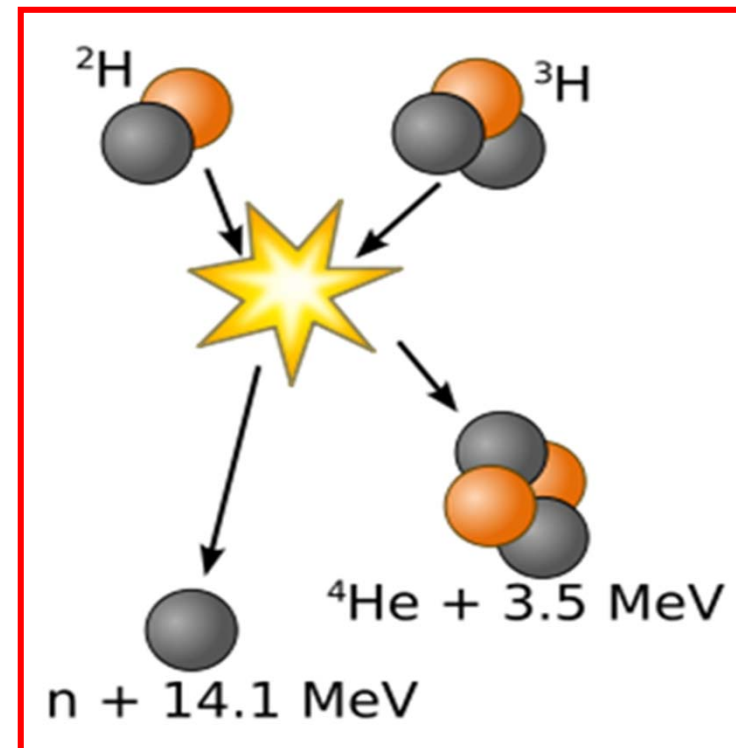
La fusione nucleare



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI



In una reazione di **fusione nucleare** partendo da nuclei di atomi molto leggeri si "costruiscono" nuclei di atomi più pesanti ed il difetto di massa porta alla liberazione della corrispondente energia. Ad esempio la fusione dei due isotopi deuterio ${}^2\text{H}$ e trizio ${}^3\text{H}$ dell'idrogeno, porta a liberare una energia di circa 17.6 MeV (cioè 2.8×10^{-12} Joule).





La produzione di energia da reazioni nucleari

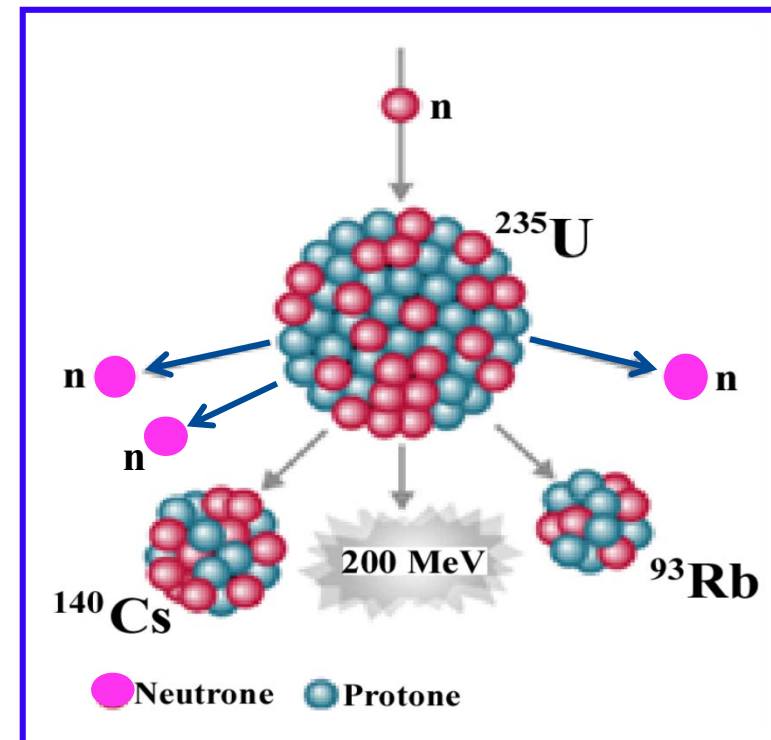
La fissione nucleare



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI



In una reazione di **fissione nucleare** partendo dal nucleo di un atomo pesante si "costruiscono" nuclei di atomi più leggeri ed il difetto di massa porta alla liberazione di energia. Ad esempio, nella fissione dell'isotopo 235 dell'uranio (^{235}U) mediante un neutrone "*lento*" (o *termico*) si libera una energia di circa 200 MeV (cioè 3.2×10^{-11} Joule).



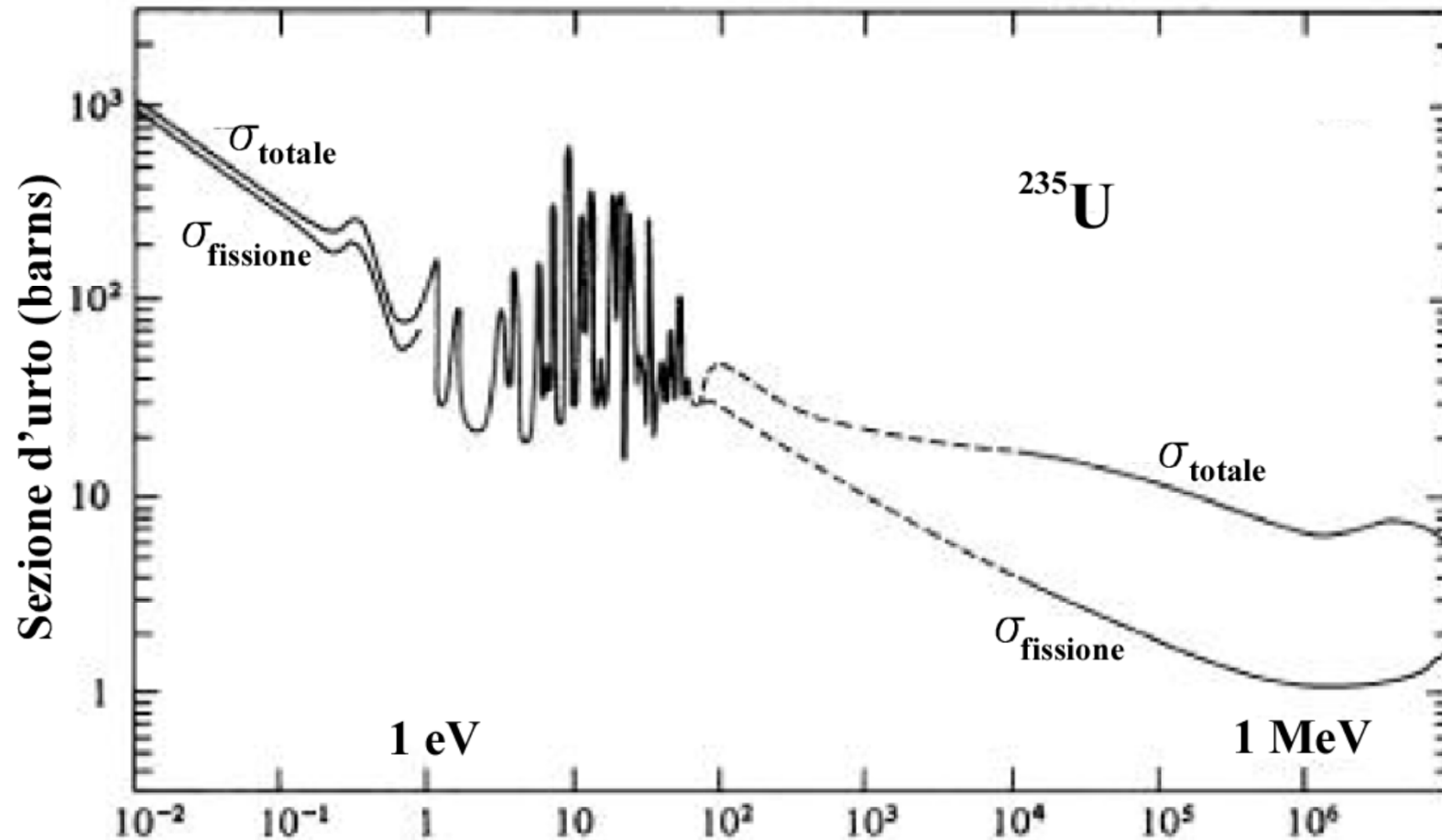


La produzione di energia da reazioni nucleari

La fissione nucleare: la sezione d'urto di fissione



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI



1 barn = 10^{-24} cm²

Energia del neutrone incidente (eV)



La produzione di energia da reazioni nucleari

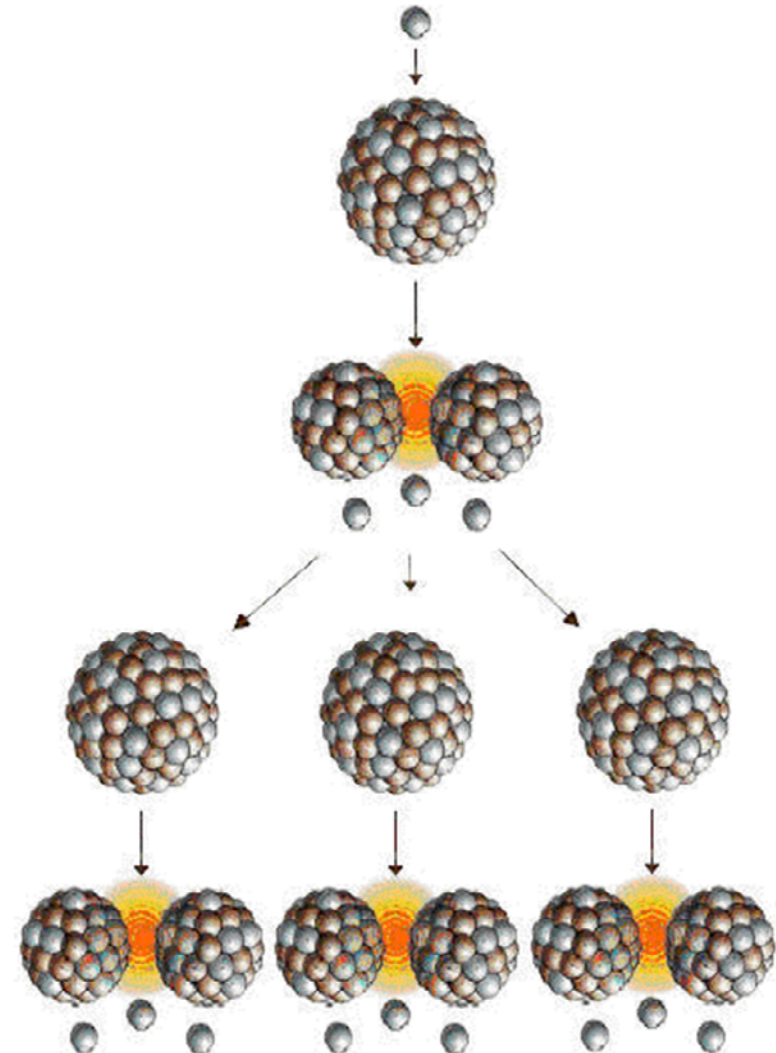
La fissione nucleare: la reazione a catena

I neutroni prodotti in una reazione di fissione possono poi, a loro volta, colpire altri nuclei fissili dando quindi luogo ad una **reazione a catena**, in grado di proseguire fino a quando sia disponibili materiale fissile.

I neutroni non avendo carica elettrica sono particolarmente idonei per la fissione perché non vengono respinti dalle cariche positive del nucleo.



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI





La produzione di energia da reazioni nucleari

Energia da fissione nucleare: il combustibile

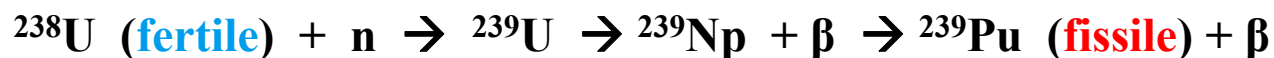
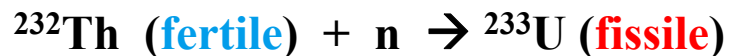


La produzione di energia da **reazioni nucleari di fissione** può essere realizzata utilizzando come “combustibile” vari elementi chimici quali, ad esempio, Uranio U e Torio Th (che esistono in natura) e Plutonio Pu (prodotto artificialmente da reazioni nucleari). Di ognuno di tali elementi esistono diversi isotopi.

Alcuni isotopi sono fissili: se i loro nuclei sono colpiti da neutroni di energia opportuna possono subire la reazione di fissione del nucleo. In questo caso, si producono due nuclei più leggeri del nucleo bersaglio e alcuni (solitamente 2 o 3) neutroni (**veloci**). La massa totale dei “prodotti” (nuclei leggeri più neutroni) risulta leggermente inferiore alla massa dei “reagenti” (nucleo bersaglio più neutrone incidente). La differenza di massa (difetto di massa) si trasforma in energia (convertita quasi completamente in calore).

Altri isotopi, detti fertili, possono (mediante reazioni nucleari) produrre nuclidi fissili.

Ad esempio:





La produzione di energia da reazioni nucleari

Energia da fissione nucleare: il combustibile



Tra gli elementi utilizzati come combustibile negli impianti (reattori) nucleari quello largamente più usato è l'uranio. Esso esiste in natura fondamentalmente sotto forma di due diversi isotopi: uno **fissile** mediante neutroni termici (^{235}U) ed uno non-fissile con neutroni termici (^{238}U) ma solo con neutroni veloci. Quest'ultimo isotopo (chiamato **fertile**) mediante una reazione nucleare può trasformarsi nell'isotopo 239 del plutonio (^{239}Pu), anch'esso fissionabile, anche mediante neutroni termici. Il processo di produzione di ^{239}Pu è particolarmente rilevante nei *reattori nucleari veloci* nei quali non è richiesta la moderazione dei neutroni prodotti nella fissione. Inoltre, il numero di neutroni prodotti nella fissione del ^{239}Pu è sensibilmente più elevato con neutroni veloci.

Dei due isotopi naturali dell'uranio, quello fissile è presente in piccola percentuale, pari a 0.7% circa. In molti tipi di impianti nucleari ad uranio è necessario, per poter mantenere la reazione a catena, aumentare la percentuale di ^{235}U presente nel combustibile nucleare: ciò è ottenuto mediante un processo di **arricchimento** isotopico.



La produzione di energia da reazioni nucleari

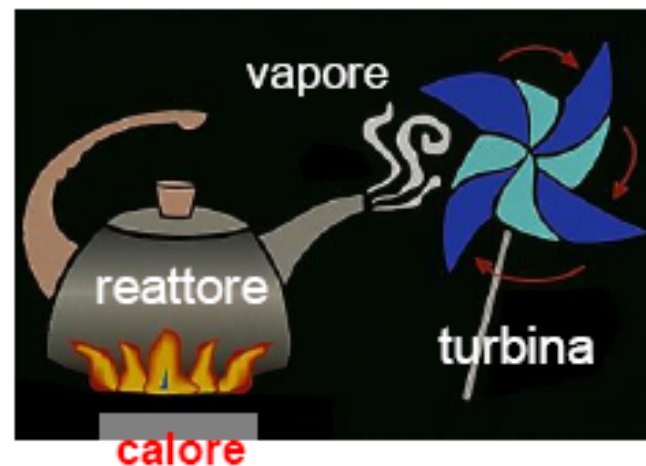
I reattori nucleari (termici)



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Poiché l'energia dei neutroni prodotti dalla fissione di un nucleo fissile è troppo elevata per poter dare luogo (con probabilità non trascurabile) a nuove fissioni (dell'isotopo ^{235}U) e quindi a consentire la reazione a catena, si rende necessario diminuire l'energia cinetica dei neutroni (cioè rallentarli, o *moderarli*) fino a che essa non raggiunga un valore per la quale la sezione d'urto di fissione dei nuclei fissili è sufficientemente elevata. Attualmente gli impianti nucleari nei quali si sfrutta questo fenomeno per la produzione di energia (termica, come energia primaria, ed elettrica, come energia secondaria) sono i **reattori nucleari termici** (quelli nei quali la reazione di fissione avviene con neutroni termici).

Indipendentemente dal tipo di reattore nucleare utilizzato per la produzione di energia elettrica, lo schema di base è rappresentabile come nella figura a lato. Il calore prodotto dalle reazioni di fissione riscalda un fluido refrigerante che viene poi utilizzato per produrre vapore che entra in una turbina collegata ad un generatore di corrente elettrica.





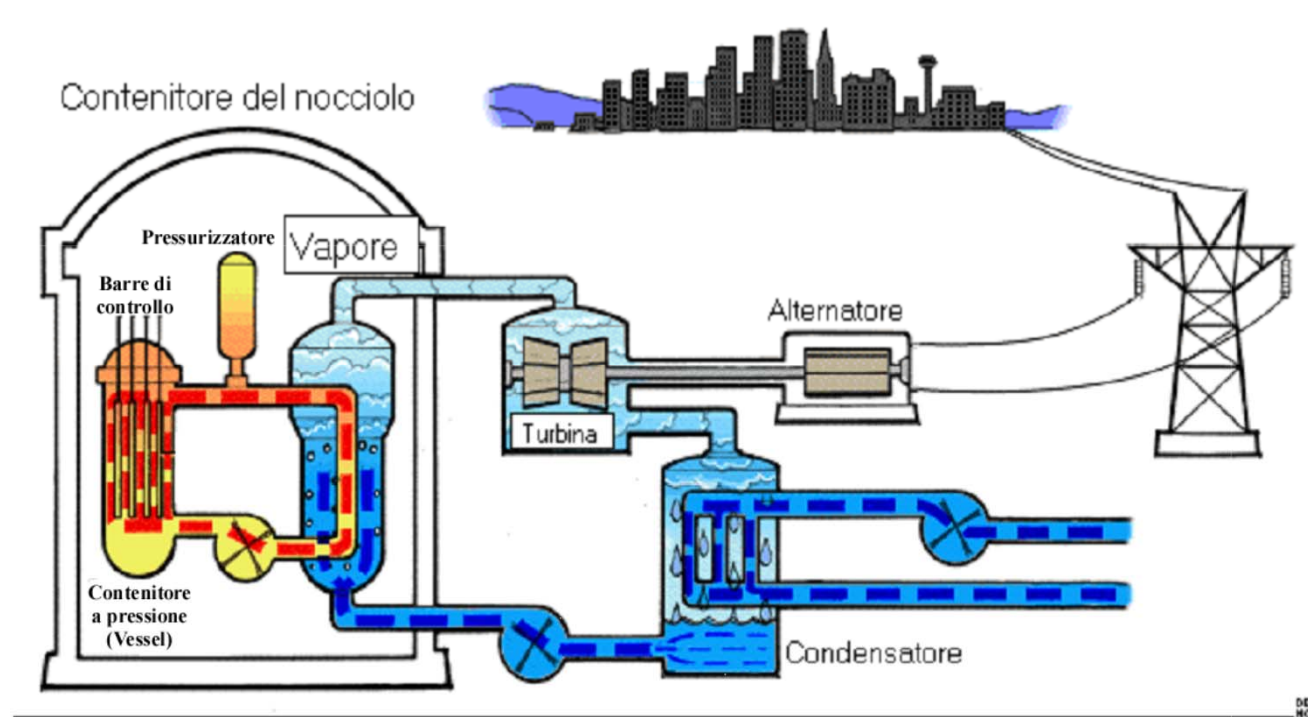
La produzione di energia da reazioni nucleari

Schema di centrale a fissione tipo PWR



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Schema di funzionamento di una centrale nucleare a fissione (**tipo Pressurized Water Reactor**). Il calore sviluppato dalla reazione di fissione all'interno del reattore viene trasferito tramite un fluido refrigerante a un flusso di acqua che genera vapore. Il vapore alimenta una turbina che tramite un generatore produce la corrente che alimenterà la rete elettrica





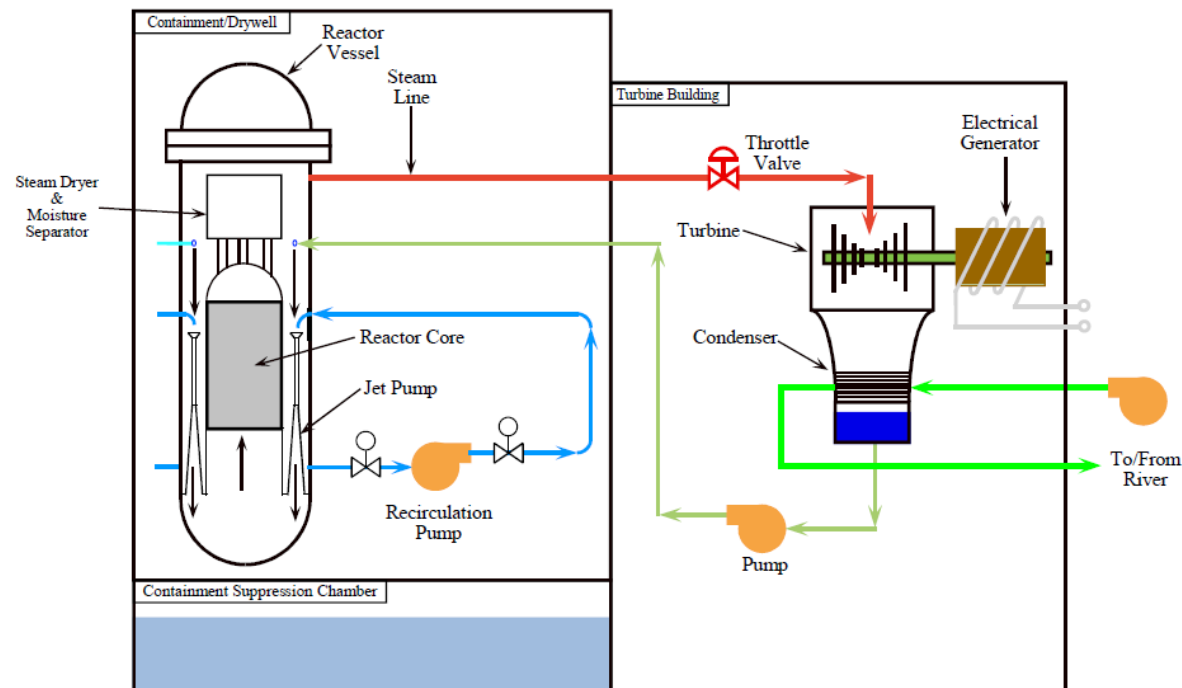
La produzione di energia da reazioni nucleari

Schema di centrale a fissione tipo BWR



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Schema di funzionamento di una centrale nucleare a fissione (**tipo Boiling Water Reactor**) simile agli impianti coinvolti nell'incidente di Fukushima. Il calore sviluppato dalla reazione di fissione all'interno del reattore viene trasferito all'acqua che si trasforma in vapore all'interno del contenitore (vessel) del reattore. Il vapore alimenta una turbina che tramite un generatore produce la corrente che alimenterà la rete elettrica





La produzione di energia da reazioni nucleari rifiuti



FONDAZIONE GIUSEPPE OCCHIALINI

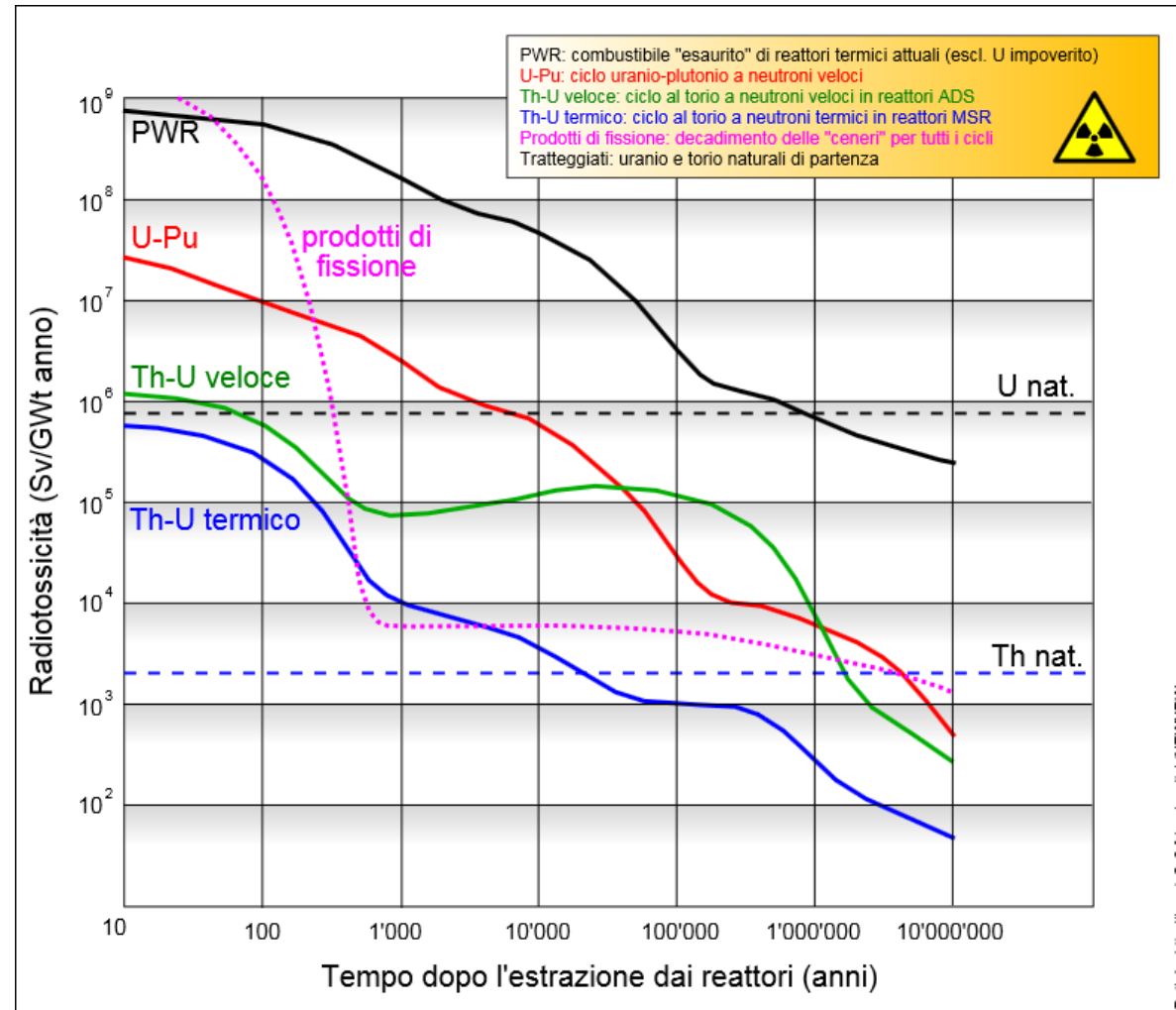
La dose di energia assorbita si misura in Sievert (Sv)

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J} / 1 \text{ Kg}$$

Prodotti della fissione

Materiale contaminato

Incidenti



Dati da: <http://ipsc.in2p3.fr/gpr/english/NEWRW>



La produzione di energia da reazioni nucleari

Classificazione delle centrali elettro-nucleari



In base alla tecnologia utilizzata, le centrali elettriche utilizzando reattori nucleari a fissione sono classificate come segue:

I^a generazione: è quella degli anni Cinquanta e Sessanta dello scorso secolo, che vide la costruzione e la sperimentazione di molti prototipi delle più varie concezioni.

II^a generazione: nei successivi anni Settanta e Ottanta si vide la costruzione di un gran numero di centrali commerciali per la produzione di energia elettrica, in massima parte ad uranio arricchito ed acqua naturale. È dai reattori di questa generazione che proviene la maggior parte di energia elettronucleare prodotta attualmente nel mondo. Circa 440 reattori nucleari (ad acqua pressurizzata PWR, o ad acqua bollente BWR) sono operativi in più di 30 paesi. La potenza elettrica di ciascuno di tali impianti è di circa 600-900 MW elettrici (MWe).



La produzione di energia da reazioni nucleari

Classificazione delle centrali elettro-nucleari



III^a generazione: è costituita da reattori già certificati e disponibili sul mercato.

Comprende innanzi tutto i reattori avanzati ad acqua naturale, alcuni già in funzione in Advanced Boiling Water Reactor (ABWR da 1400 MWe) altri, come lo European Pressurized Water Reactor (EPR da 1.600 MWe), in fase di ordinazione: il primo esemplare di EPR (*Olkiluoto 3*) entrerà in funzione in Finlandia nel 2018 (anziché, come precedentemente annunciato, nel 2011), altri sono in fase di approntamento o di trattativa commerciale in Europa, Asia e Medio Oriente.

IV^a generazione:

Reattori ancora allo stadio concettuale, oggetto di una iniziativa avviata nel gennaio 2000, allorquando dieci Paesi si sono uniti per sviluppare i sistemi nucleari di futura generazione, operativi fra 20 o 30 anni.

Requisiti: a) sostenibilità (massimo utilizzo del combustibile e minimizzazione dei rifiuti radioattivi); b) economicità (rischio finanziario equivalente a quello di altri impianti energetici); c) sicurezza e affidabilità (bassa probabilità di danni gravi al nocciolo del reattore, tolleranza a gravi errori umani; non dovranno, richiedere piani di emergenza per la difesa della salute pubblica, non essendoci uno scenario credibile per il rilascio di radioattività fuori dal sito; d) resistenza alla proliferazione e protezione fisica contro attacchi terroristici.



La produzione di energia da reazioni nucleari

Fusione nucleare: l'impianto ITER



Per dimostrare la fattibilità tecnologica di un impianto nucleare a fusione e prima di dare il via alla costruzione di impianti prototipi pre-commerciali, si è costituita una impresa raggruppante sette grandi partners mondiali (Comunità Europea, USA, Russia, Giappone, Cina, India, Corea del Sud) al fine di costruire un impianto sperimentale a fusione di tipo tokamak, di taglia paragonabile a quella di un futuro impianto commerciale. Tale impianto, denominato ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), è in costruzione congiuntamente dai sette partners presso il centro nucleare francese di Cadarache (in Provenza, Francia).

La costruzione e la messa in esercizio dell'impianto richiederanno circa 10 anni. La vita utile di ITER è prevista in circa 30 anni. Il costo stimato per ITER (progettazione, costruzione ed esercizio per 20-30 anni) è di circa 10 miliardi di euro (costi 2008) rivisti a 15, con un costo di gestione di 290 milioni all'anno. L'inizio dell'operatività è previsto per il 2035.



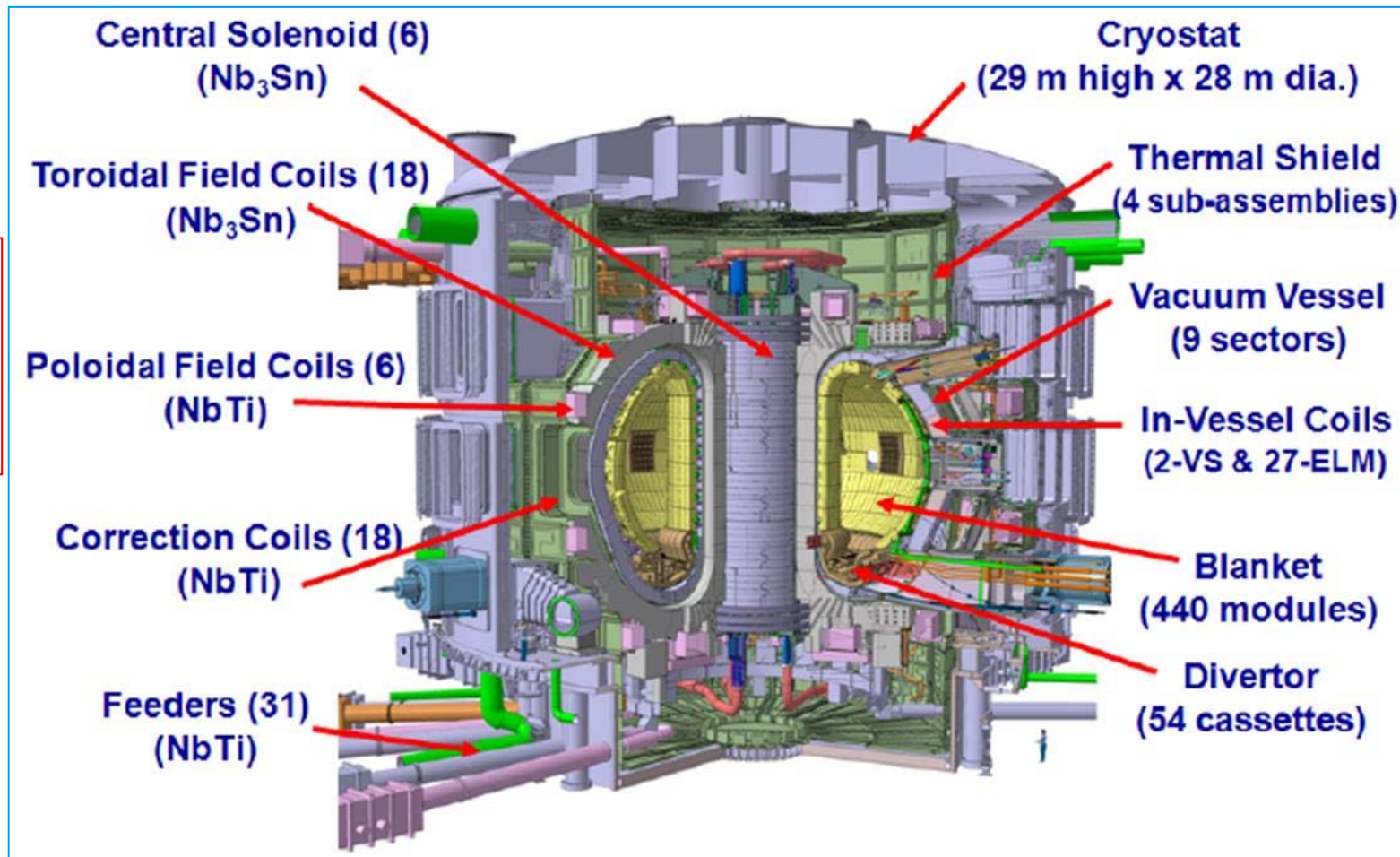
La produzione di energia da reazioni nucleari

Fusione nucleare: Alcuni aspetti dell'impianto ITER



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Il tokamak
ITER
Design
attuale



Tokamak : circa 29 m di altezza, 28 m diametro e circa 23000 t di massa

<http://www.fondazioneocchialini.it>

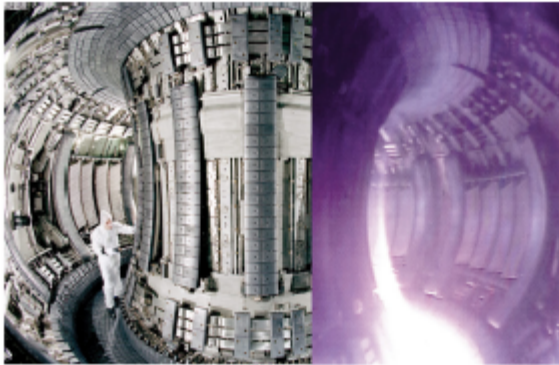


La produzione di energia da reazioni nucleari

Fusione nucleare: Alcuni aspetti dell'impianto ITER

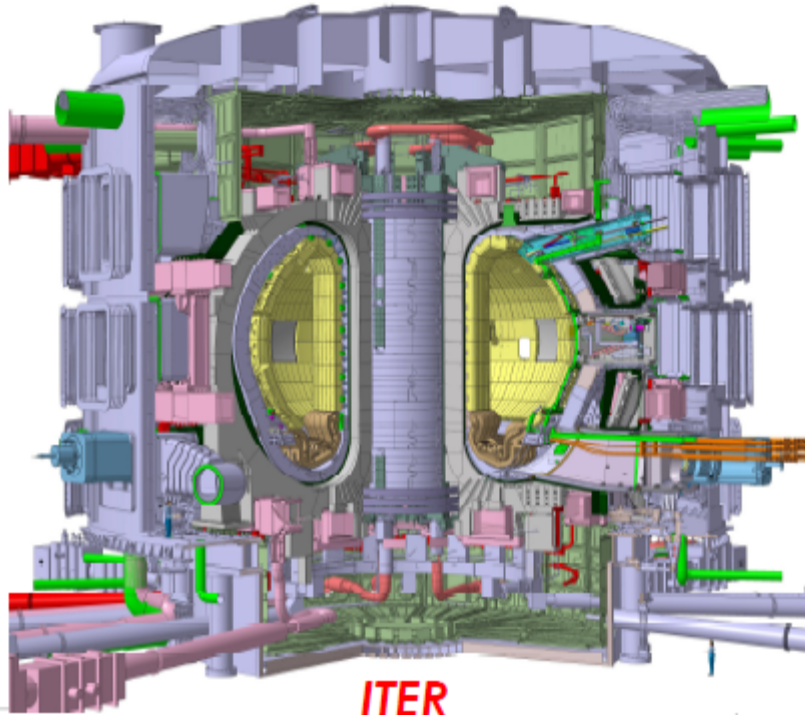


FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

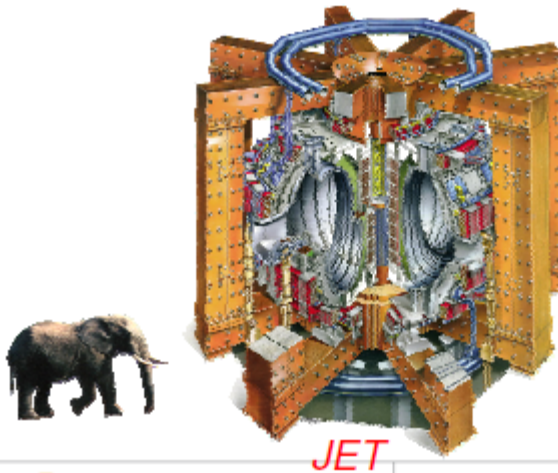


JET – Internals & Plasma

ITER will allow us to produce plasmas with temperatures of 100 - 200 million °C (10 times the temperature of the sun's core)
⇒ 500 Megawatts of fusion power



Un confronto tra JET, ITER ... e un elefante !



JET

ITER



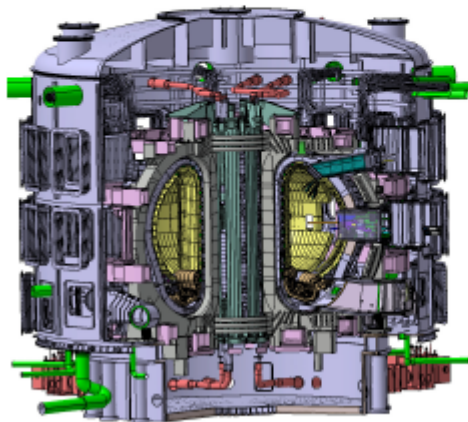
La produzione di energia da reazioni nucleari

Fusione nucleare: Alcuni aspetti dell'impianto ITER



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Cryostat Size Comparison



ITER Tokamak
29 m Tall x 28 m Wide



Arc de Triomphe
49 m Tall x 45 m Wide



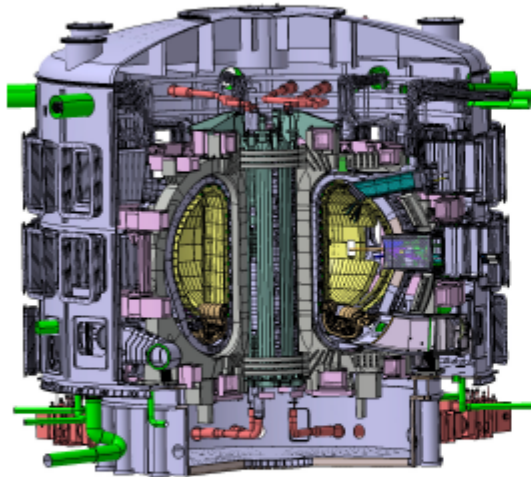
La produzione di energia da reazioni nucleari

Fusione nucleare: Alcuni aspetti dell'impianto ITER



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

ITER Tokamak - Mass Comparison



ITER Machine mass:
~23000 t
28 m diameter x 29 m tall

Charles de Gaulle mass:
~38000 t (empty)
856 ft (261 m) long
(Commissioned 2001)



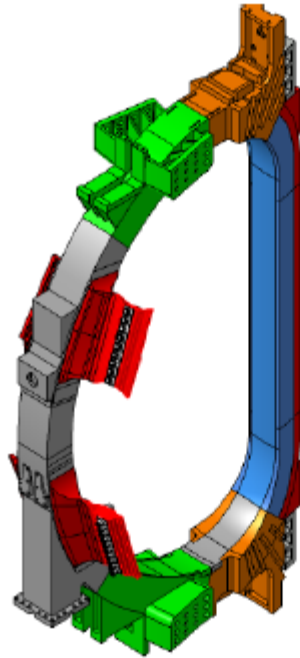
La produzione di energia da reazioni nucleari

Fusione nucleare: Alcuni aspetti dell'impianto ITER



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

TF Coil – Mass Comparison



Mass of (1) TF Coil:
~360 t
16 m Tall x 9 m Wide



Boeing 747-300
(Maximum Takeoff Weight)
~377 t

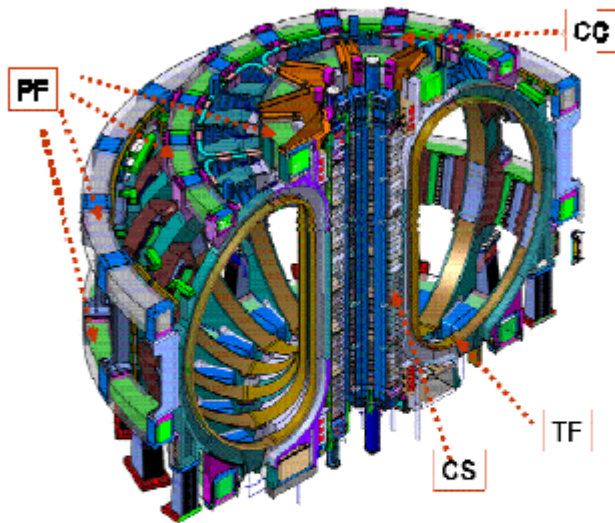


La produzione di energia da reazioni nucleari
Fusione nucleare: Alcuni aspetti dell'impianto ITER



FONDAZIONE GIUSEPPE OCCHIALINI

Magnet Energy Comparison



Superconducting Magnet Energy:
 ~51 GJ

Charles de Gaulle Energy:

~38000 t at ~180 km/hr

or

The energy of ~19000

Audi A5's each at ~180 km/hr





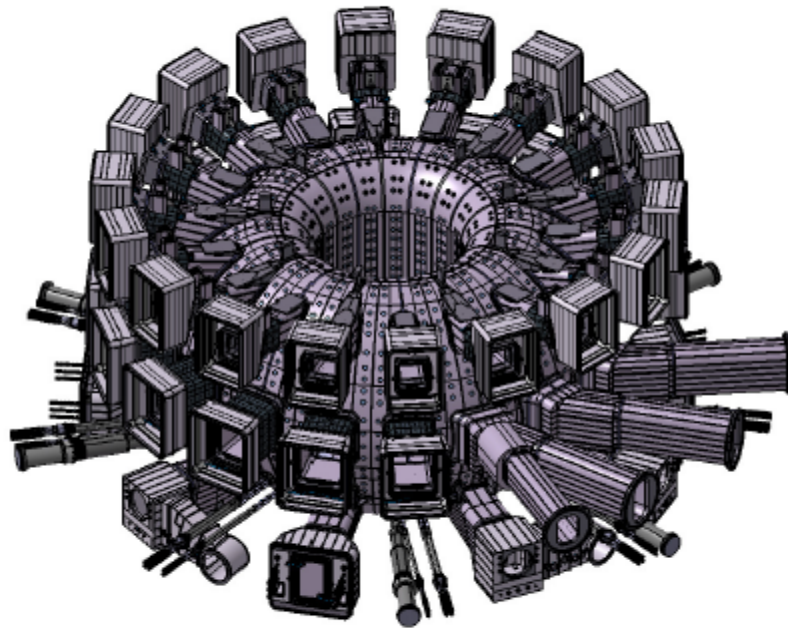
La produzione di energia da reazioni nucleari

Fusione nucleare: Alcuni aspetti dell'impianto ITER



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Vacuum Vessel Mass Comparison



VV & In-vessel components mass: ~8000 t
19.4 m outside diameter x 11.3 m tall



Eiffel Tower mass: ~7300 t
324 m tall



La produzione di energia da conversione diretta dell'energia solare in energia elettrica: pannelli fotovoltaici



Il pannello fotovoltaico sfrutta le proprietà di particolari elementi semiconduttori per produrre energia elettrica quando sollecitati dalla luce. I pannelli solari fotovoltaici convertono la luce solare direttamente in energia elettrica. Questi pannelli sfruttano l'**effetto fotoelettrico** e hanno una **efficienza di conversione** che arriva fino al 32,5% nelle celle da laboratorio. In pratica, una volta ottenuti i pannelli dalle celle e una volta montati in sede, l'efficienza è in genere del 13-15% per **pannelli in silicio cristallino** e non raggiunge il 12% per pannelli in film sottile. I prodotti commerciali più efficienti, utilizzando celle a multipla giunzione o tecniche di posizionamento dei contatti elettrici sul retro della cella (backcontact) raggiungono il 19-20%. Questi pannelli, non avendo parti mobili o altro, necessitano di pochissima manutenzione: in sostanza vanno solo puliti periodicamente. La durata operativa stimata dei pannelli fotovoltaici è di circa 30 anni.

Il difetto principali di questi impianti è il costo dei pannelli. Il secondo ovvio problema di questo genere di impianto è che l'energia viene prodotta solo durante le ore di luce e quindi non è adatta per qualunque situazione, essendo l'elettricità una forma di energia difficilmente accumulabile in grandi quantità. Va rilevato che tuttavia la produzione da solare è maggiore proprio nei momenti di maggior richiesta, cioè durante il giorno e nelle stagioni calde, durante le quali può sopperire all'aumento di consumi dovuto agli impianti di ventilazione e condizionamento.



La produzione di energia da conversione diretta dell'energia solare in energia elettrica: pannelli fotovoltaici

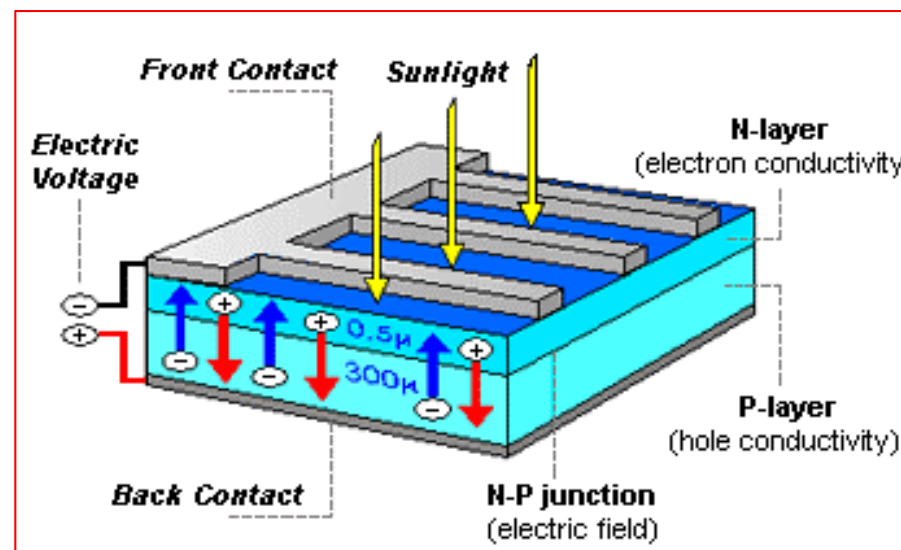


FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

La cella fotovoltaica utilizza l'effetto fotoelettrico.

I fotoni della luce solare, quando colpiscono la cella fotovoltaica, possono essere riflessi, assorbiti, o attraversarla.

Un fotone assorbito produce calore oppure, se ha sufficiente energia, libera un elettrone dallo stato legato spingendolo nella banda di conduzione. Le coppie elettrone-lacuna così prodotte, che ricadono sotto l'influenza del campo elettrico, vengono spinte in direzioni opposte (l'elettrone, nella banda di conduzione, verso la zona N; la lacuna, nella banda di valenza, verso la zona P), dando origine a un flusso elettronico unidirezionale che, in caso di connessione con conduttori all'interno di un circuito chiuso, si traduce in corrente elettrica.



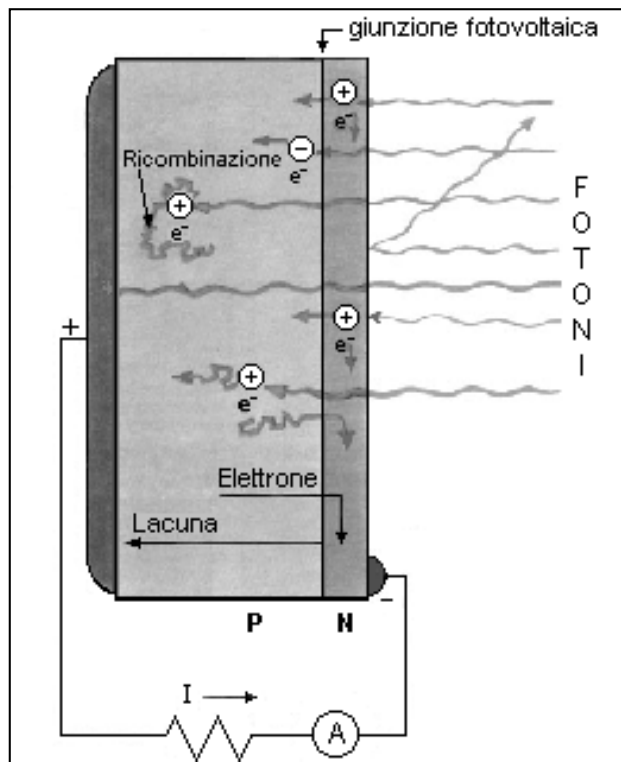


La produzione di energia da conversione diretta dell'energia solare in energia elettrica: pannelli fotovoltaici



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Conversione diretta dell'energia solare in energia elettrica: la cella fotovoltaica

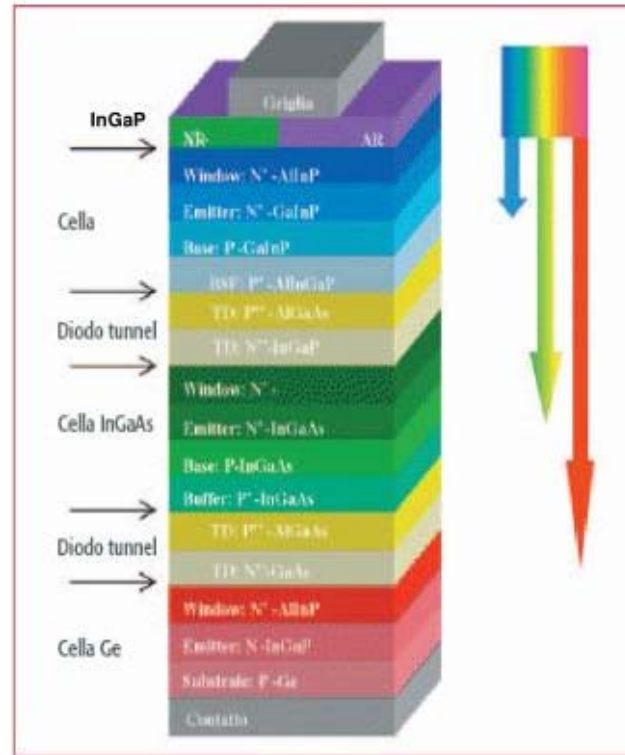


Una cella fotovoltaica è sostanzialmente un diodo di grande superficie.

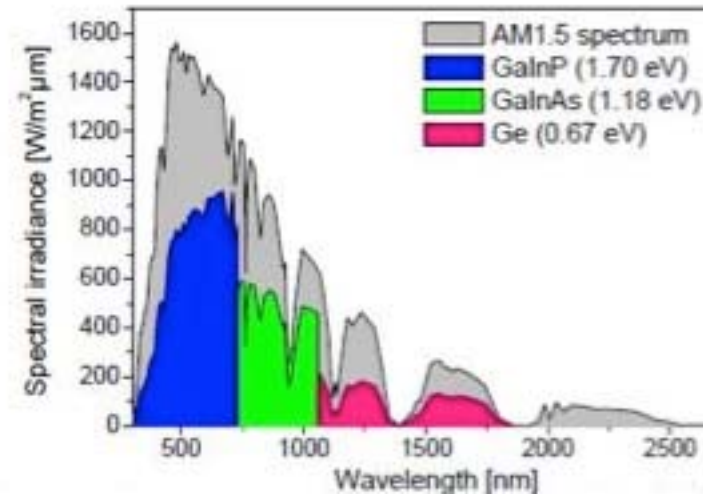
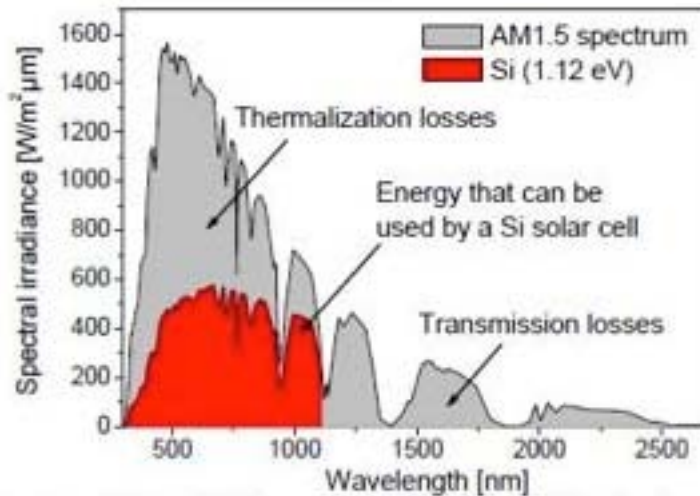
Esponendola alla radiazione solare, la cella si comporta come un generatore di corrente.



Pannelli multigiunzione



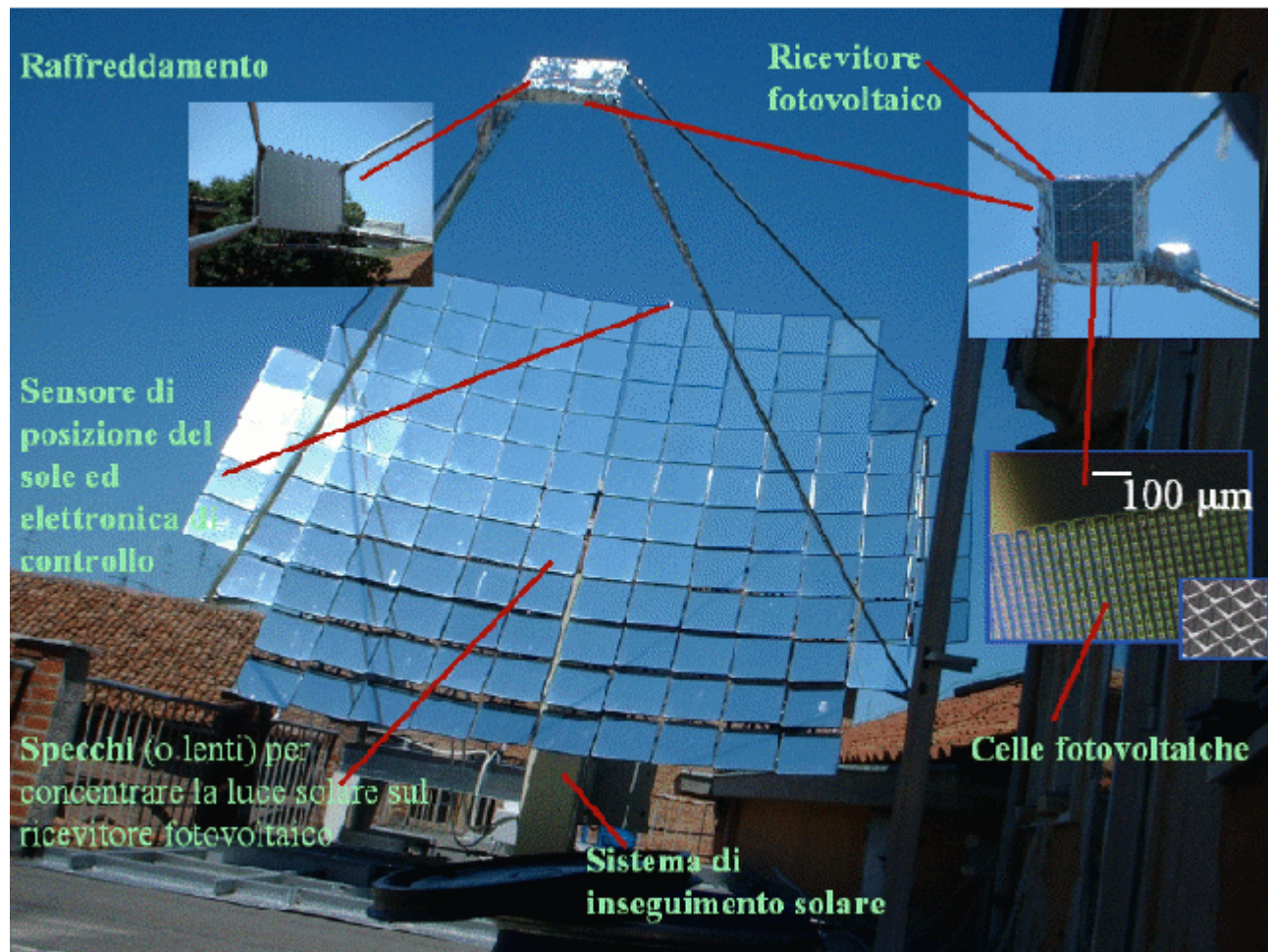
**FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI**





FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

Impianti fotovoltaici a concentrazione



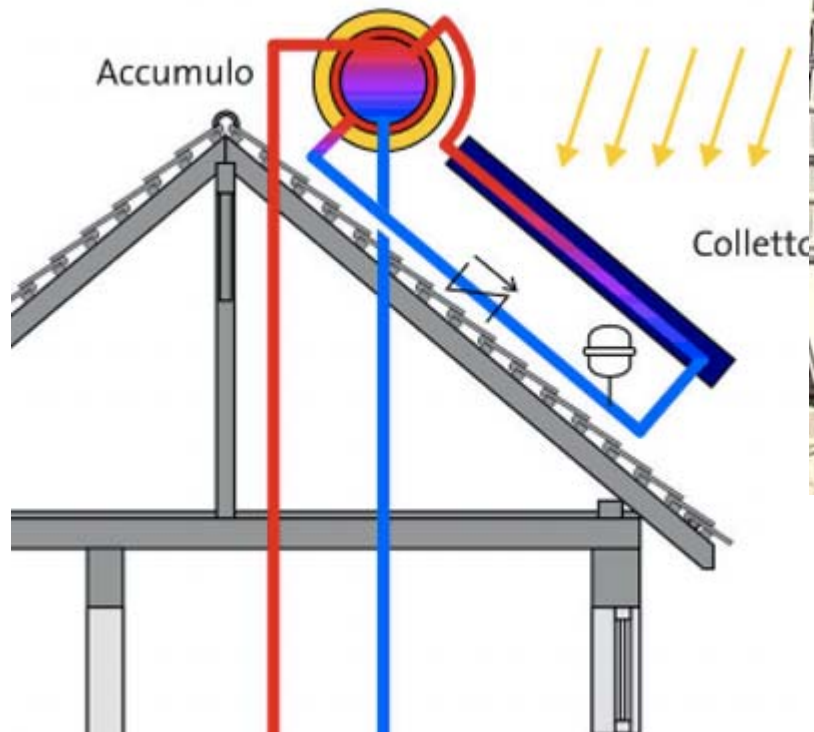
Solare termico



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI



ENEA
Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia
e lo sviluppo economico sostenibile



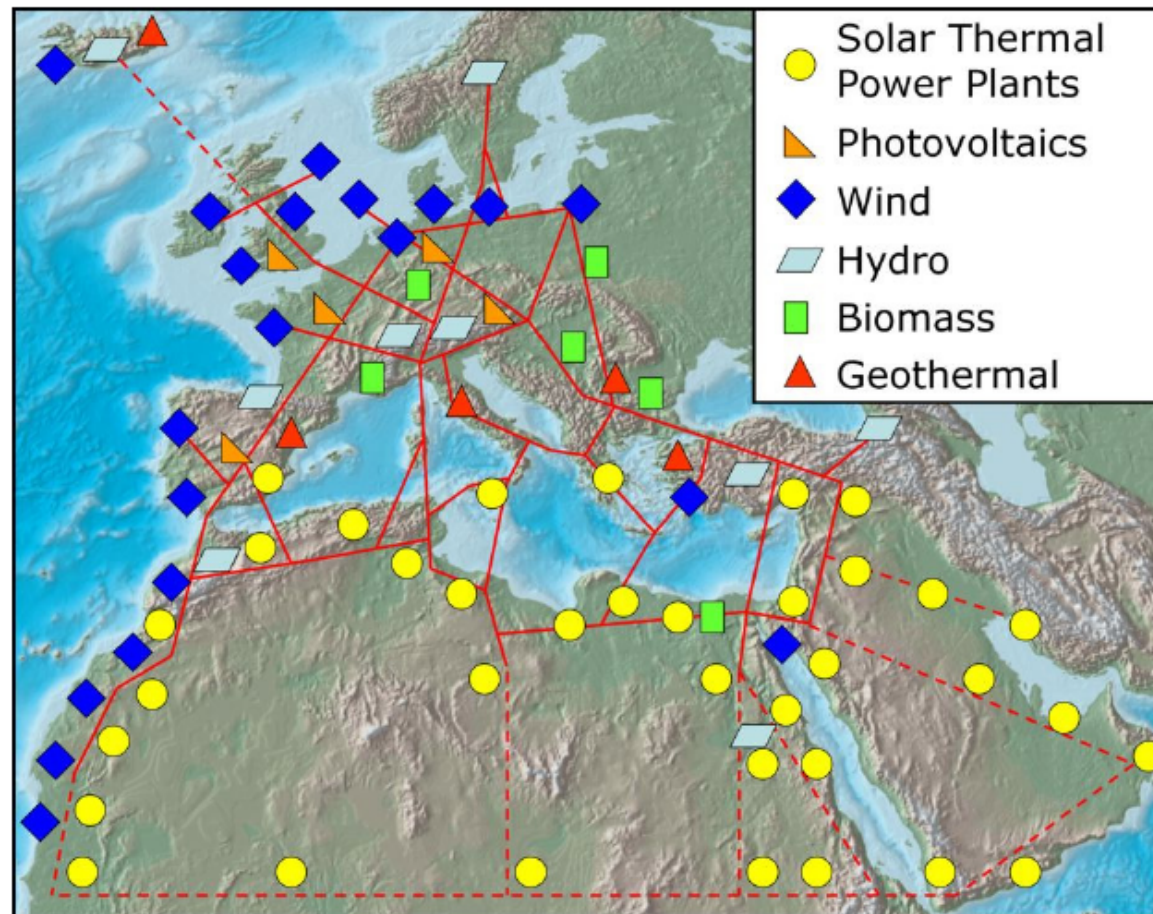
lazioneocchialini.it



**Within 6 hours deserts receive more energy
from the sun than humankind consumes
within a year (www.desertec.org)**



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI



Supergrid europea con un collegamento EU-MENA Schema di realizzazione di una possibile infrastruttura per l'approvvigionamento sostenibile di energia ai paesi **EU-MENA**.



questione energetica



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI

- Interesse globale (clima, sviluppo)
- Implicazioni sociali economiche e politiche (esigenze)
- Scenari incerti (previsioni difficili)
- Leggi del mercato (stato/privati)
- Ruolo della ricerca scientifica (ottimizzazione, novità)



energia nucleare



- Basi fisiche (nucleo, difetto di massa, sezione d'urto)
- Alta densità energetica
- Fusione
 - $D+T \rightarrow He+n$ (17.6 MeV)
 - Difficoltà tecnologiche
 - Assenza di scorie radioattive
- Fissione
 - $U+n \rightarrow Rb+Cs+3n$ (200 MeV)
 - Sviluppi continui
 - Pericolosità



energia solare



- Fotovoltaico
 - Effetto fotoelettrico
 - Efficienza bassa/EROI basso (in crescita)
 - Celle multigiunzione
 - Concentratori
- Termico (Termodinamico)
 - Scalabilità
 - Scarsa resa
 - Immagazzinamento calore



energia solare



FONDAZIONE
GIUSEPPE OCCHIALINI





La questione energetica Il supporto della ricerca



Appare chiaro, anche dalle cose che abbiamo visto in questa nostra chiacchierata sull'energia e dalle esigenze di trovare fonti con elevata densità di energia che la **RICERCA** giocherà un ruolo fondamentale nella possibilità di dare risposte positive a tali aspettative.

Non vanno certamente dimenticate fonti altrettanto importanti nel panorama della produzione di energia quali le fonti rinnovabili (solare, eolica, geotermica) anche se esse potranno essere impiegate per produrre piccole quantità di energia (per installazione): ma ... tante piccole quantità Anche in questo campo appare fondamentale il ruolo che dovrà giocare la **RICERCA**.

Un altro ruolo importante potrà essere giocato dal risparmio energetico, con particolare rilevanza all'aumento dell'efficienza delle fonti già note: e, di nuovo, molto è affidato alla **RICERCA**.



Per concludere: un augurio per il vostro futuro
soprattutto se nel campo della RICERCA